

Julio 2022
Diciembre

e-ISSN 2389-9484







Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías.

Volumen 9 | Número 2



Revista Ciencia e Ingeniería, vol. 9, n.º 2, e7460621, 2022.
http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei

Ciencia e Ingeniería
Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías
ISSN 2389-9484
Año 2022, julio-diciembre, Vol. 9, N.º 2, e7460621
Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas y *Facultad Ingeniería*. Universidad de La Guajira
La Guajira, Riohacha, Colombia
http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei
Este documento fue depositado en Zenodo. DOI: https://www.doi.org/10.5281/zenodo.7460621

BIOACUMULACIÓN DE COBRE Y ZINC EN MÚSCULO, BRANQUIAS E HÍGADO DE MUGIL INCILIS (HANCOCK, 1830) PROCEDENTE DE UNA LAGUNA COSTERA COLOMBIANA

Bioaccumulation of copper and zinc in muscle, gills and liver of Mugil incilis (Hancock, 1830) from a colombian coastal lagoon

Diana Arteta Saltarín S
artetasal@gmail.co
Bióloga, Universidad del Atlántico, Colombia

Iván León Luna
https://orcid.org/0000-0002-8879-1470
ivanleon@mail.uniatlantico.edu.co
Director del grupo de investigación Zona Costera de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad del Atlántico

RESUMEN

Se evaluaron las concentraciones de metales pesados, cobre y zinc, en sedimentos y tejidos de la especie Mugil incilis, presente en la ciénaga de Los Manatíes Atlántico. Las muestras fueron analizadas mediante la técnica de medida directa en muestras sólidas, espectrómetro de fluorescencia de rayos X por reflexión total ((TXRF) ("S2 PICOFOX") de BRUKER por duplicado. Se muestrearon cuatro zonas de la laguna (drenajes puntuales, zona de vegetación, zona centro y zona de intercambio). Los resultados indicaron que el metal cobre presentó las mayores concentraciones en el tejido hepático seguido del tejido branquial (4828 mgkg-1 y 342 mgkg-1, respectivamente). En cuanto al zinc las branquias presentaron los mayores valores, seguido del musculo (1323 mgkg-1 y 679 mgkg-1, respectivamente). El factor de bioacumulación indicó que la especie bioconcentra niveles significativos de estos dos metales en el tejido hepático y branquial, siguiendo el siguiente orden: Cu-hígado, Cu-branquias, Cu-músculo y el Zinc: Zn-branquias, Zn-musculo, Zn-hígado.

Palabras clave: laguna costera; bioacumulación; metales pesados; sedimentos; pez.

ABSTRACT

The concentrations of trace metals, copper and zinc, in sediments and tissues of the Mugil incilis species, present in the Los Manatíes Atlántico swamp, were evaluated. The samples were analyzed using the direct measurement technique on solid samples, total reflection X-ray fluorescence spectrometer ((TXRF) ("S2 PICOFOX") from BRUKER in duplicate. The samples were obtained covering four zones of the lagoon (drainages punctual, vegetation zone, central zone and exchange zone), the capture of the fish the sampling stations were not taken into account. In the results obtained, it was found that the copper metal presented the highest concentrations in the liver tissue followed by the gill tissue (4828 mgkg-1 and 342 mgkg-1), for zinc the gills presented the highest values, followed by the muscle (1323 mgkg-1) and 679 mgkg-1). The bioaccumulation factor indicated that the species bioconcentrates significant levels of these two metals in the liver and gill tissue, following the following order of magnitude: Cu-liver, Cu-gills, Cu-muscle and Zinc: Zn-gills, Zn- muscle, Zn-liver.

Keywords: coastal lagoon; Bioaccumulation; heavy metals; sediments; fish.

Recibido: 22 de junio de 2022
Aceptado: 11 de septiembre de 2022





Revista Ciencia e Ingeniería, vol. 9, n.º 2, e7460621, 2022.
http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei

Introducción

La ciénaga de Los Manatíes (CM) es una laguna costera de gran importancia física, ecológica y socioeconómica. En los últimos años ha soportado una alta presión antropogénica, debido a la ocupación de sus orillas para fines recreativos y turísticos. Asimismo, recibe una carga sedimentaria procedente del mar Caribe y sustancias químicas que pueden estar afectando la calidad de sus aguas y sedimento. Una de las principales sustancias que podrían estar afectando este ecosistema, serían los metales pesados (MP), quienes constituyen uno de los tipos de contaminación más peligrosas para los ecosistemas acuáticos y para las especies presentes en ellos, especialmente los peces (Boy, 2015); principalmente porque tienen dos fuentes claras de ingreso al medio ambiente: una fuente natural y otra antropogénica.

Los MP se incorporan por medio de actividades domésticas, industriales, escorrentías superficiales y arrastre (Guiñez et al., 2015; Fuentes et al., 2018). Los sedimentos presentan acumulación de estos elementos, siendo integradores y concentradores de MP. Dicha capacidad está relacionada con el tamaño de las partículas, la especiación química y la cantidad de materia orgánica sedimentaria (León & Padilla, 2008; Delgado, 2012; Pájaro & Sánchez, 2016; Cadavid et al., 2019).

Los MP son frecuentes e importantes contaminantes (Ansari et al., 2004), debido a la facilidad con la que pueden incorporarse a los tejidos y formas químicas del sedimento o en dilución en la columna de agua (León et al., 2004). Dentro de ellos, se encontró al Zn y al Cu que, aunque son metabolizados por los organismos, sí se encuentran en altas concentraciones, pueden ser tóxicos y provocarles anomalías (Ansari et al., 2004; Zorrilla 2011; Corrales, 2013).

Los peces han sido utilizados como bioindicadores, debido a que se encuentran en contacto permanente con el agua, están en el nivel más alto de la cadena alimentaria y sirven como base de alimento para las poblaciones humanas. Por ello, han sido usados en diversos estudios como buenos bioindicadores de MP (Mzimela et al., 2003; Marcovecchio, 2004; Fernandes et al., 2007; Suami et al., 2018).

El objetivo de este trabajo fue analizar el grado de bioacumulación de metales traza (Cu y Zn) en músculo, branquias e hígado del pez *M. incilis* presente en la ciénaga de Los Manatíes.

Materiales y métodos

Se realizaron cuatro muestreos, desde el mes de octubre del 2016 hasta el mes de enero del 2017. En cada uno de ellos se recolectaron las muestras de sedimentos y del pez *M. incilis*. las muestras de sedimento fueron colectadas en cuatro estaciones de muestreo (tabla 1).

Tabla 1. Estaciones de muestreo en la ciénaga de Los Manatíes con sus respectivas coordenadas.

Estación	Latitud	Longitud
E1: Paralelo a la costa	11° 02' 25,1" N	74° 54' 41,3" W
E2: Zona de manglar	11° 02' 31,7" N	74° 54' 42,5" W
E3: Zona Centro	11° 02' 30,1" N	74° 54' 36,9" W
E4: Zona de intercambio	11° 02' 30,1" N	74° 54' 23,8" W

La determinación de los metales pesados se llevó a cabo mediante la técnica de medida directa en muestras sólidas, espectrómetro de fluorescencia de rayos X por reflexión total (TXRF) *("S2 PICOFOX")* de BRUKER por duplicado, utilizando calibración interna (estándar de itrio (Y)). La calibración interna consiste en utilizar un estándar de concentración conocida de un elemento que no se encuentre en la matriz (muestra), para

este caso se utilizó el Itrio, puesto que es improbable que se encuentre en las muestras de sedimento y pescado, este elemento se utiliza para compensar los efectos de la matriz. La calibración de los canales de lectura o la longitud de onda de fluorescencia se determinaron con el análisis de una muestra de As. El arsénico se utiliza por la sensibilidad del equipo a este elemento. Puesto que dispone del factor de sensibilidad y número y posición de picos de fluorescencia adecuados. Esta técnica logró detectar distintos elementos químicos de los cuales se tomaron los metales pesados Cu y Zn.

Sedimento

Las muestras de sedimentos fueron secadas, tamizadas, y molidas. Para así asegurar el máximo contacto entre el reactivo y las partículas. A través del tamizado se obtuvo la fracción fina (< 0,63 μm) la cual, se utilizó para la determinación de los MP.

El primer paso para la determinación de los MP, fue pesar entre 20-30 mg de fango en una balanza analítica, luego se procedió adicionar en un tubo de ensayo la muestra y 2mL HNO_3 concentrado previamente lavado con agua desionizada. Posteriormente se llevaron las muestras al ultrasonido a 60°C durante 30 min, pasado este tiempo se vertió 10 microlitros de estándar de itrio, se colocó cada una de las muestras en un vortex (digital vortex mixer) durante un 1 min para su homogenización.

Para la lectura, se sembró 10 μL de la muestra en un portador de cuarzo, este se llevó a una plancha (AREC.X Heating magnetic stirrer) durante 10 segundos para su posterior lectura, en el espectrómetro de fluorescencia de rayos X por reflexión total.

Pez *M incilis*

En cada muestreo se trató de colectar como mínimo 10 individuos de *M. incilis*. Los peces se transportaron en una nevera de icopor con hielo seco, con la finalidad de ser refrigerados hasta su posterior tratamiento en el laboratorio. La disección de las muestras y su posterior tratamiento se llevó a cabo siguiendo la metodología de INVEMAR (2003) y Márquez et al. (2008).

Tratamiento estadístico de los datos

El análisis estadístico se llevó a cabo con la ayuda de tres programas informáticos: Excel, PAST Statistical Software versión 2. 17, SPSS Statistics 24 y las gráficas fueron realizadas por medio del programa Origin versión 8.

El software PAST, se empleó para determinar la estadística descriptiva. El software SPSS, se utilizó para determinar la correlación de los metales pesados en los sedimentos y en los tejidos de los individuos, utilizando el coeficiente de correlación de Pearson con un nivel de significancia de $P \geq 0{,}05$.

Factor de Bioacumulación (FB)

Para relacionar los contenidos de MP en el sedimento con los presentes en los diferentes tejidos del organismo y con la finalidad de apreciar si los individuos son capaces de bioconcentrar los metales (Cu y Zn) y en que magnitud; se utilizó el factor de concentración o Bioacumulación, propuesto por Ahumada (1994); Mountouris *et al.* (2002). La fórmula para la obtención del FB es:

$$FB = Cbiota / Csedimento$$

Donde C corresponde a la media de la concentración del metal en el musculo, branquias e hígado del pez *M incilis*, y a la media de la concentración del metal en el sedimento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Metales en la fracción total del sedimento

Las concentraciones medias globales de los MP (Cu y Zn), y las concentraciones por estación de muestreo se muestran en la tabla 2.

El cobre presentó un valor medio de 62,2 ± 34,22 $mgkg^{-1}$, con valores máximos en la zona noroeste (107,10 $mgkg^{-1}$) y mínimos en la zona centro (41,58 $mgkg^{-1}$) (figura.1). Las concentraciones altas de Cu en la estación paralela a la costa, están relacionadas con los drenajes que se realizan en esta área. Las concentraciones de Zn oscilaron entre 328,58 $mgkg^{-1}$ y 216,31 $mgkg^{-1}$ (tabla 2), con un promedio global de 283,9 $mgkg^{-1}$; siendo la zona noreste la de mayor valor, ya que esta zona es altamente influenciada por los desechos domésticos no tratados. Las concentraciones de Zn, estuvieron por encima de las encontradas para Cu en todas las estaciones de muestreo.

Tabla 2. Concentración de MP en $mgkg^{-1}$ (Cu y Zn), por estación de muestreo. X ± DS; promedio-desviación estándar.

Estación	Cu	Zn
E1	107,10 ± 39,1	275,85 ± 69,6
E2	50,13 ± 19,7	328,58 ± 110,9
E3	41,58 ± 9,9	216,31 ± 41,9
E4	50,03 ± 6,2	314,90 ± 70,4
PROMEDIO	62,2 ± 30,1	283,9 ± 50,3

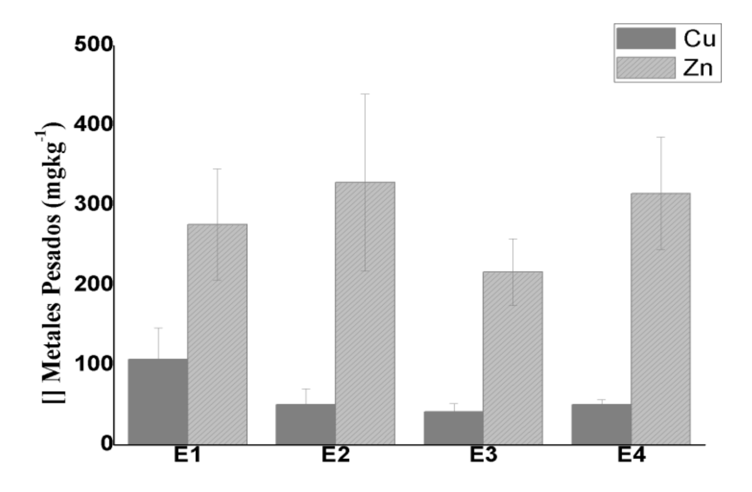


Figura 1. Concentración de MP (Cu y Zn) por estación de muestreo en la ciénaga de Los Manatíes.

La distribución espacial de las concentraciones de metales en los sedimentos tiende a variar entre las estaciones, mostrando en algunas zonas (E1 y E2) niveles altos de MP (figura 1). Las variaciones encontradas pueden deberse a las diferencias en las fuentes de contaminación por metales y las condiciones físicas y químicas del sedimento (Fernandes et al., 2007). También con el tipo de partícula predominante en los sedimentos, puesto que determinan el contenido de MP. Así los sedimentos donde predominan las partículas finas, retendrán mayor humedad, materia orgánica y metales (Pérez et al., 2006; Calderón & Valdés 2012). Asimismo, la profundidad y la intensidad de las corrientes, son otra de las características que determinan la retención de metales en los sedimentos (León & Padilla, 2008).

El Zinc presentó concentraciones altas para todas las estaciones, indicando que existe un enriquecimiento de este metal en la ciénaga. Esto corrobora que es un buen indicador de las actividades humanas, ya sea domesticas o industriales (León et al., 2004). Unas de las causas que podrían estar aumentando su concentración es la poca circulación del material en suspensión y las deposiciones puntuales de aguas residuales.

Al comparar los valores de Cu y Zn de la CM con otros lugares encontramos que los supera a todos (tabla 3), excepto el Cu hallado por Fernándes et al. (2007). Es evidente que la ciénaga de Los Manatíes está recibiendo altas descargas de estos contaminantes, aunque las concentraciones no sugieren un riesgo para la biota según la guía de calidad de los sedimentos (Tabla 4). Estos elementos tienen un origen común según el índice de correlación de Pearson, puesto que presentaron una correlación positiva significativa (r=1,000**), lo que podría indicar una fuente común de ingreso al cuerpo de agua, debido a su utilización en la industria y en los fertilizantes utilizados para la actividad agrícola.

Tabla 3. Comparación de los MP (Cu y Zn) en sedimentos en este estudio y en otras investigaciones.

ESTUDIOS	Cu	Zn	Técnica de Espectrofotometría
Este studio	62,2 $mgkg^{-1}$	295,24 $mgkg^{-1}$	TXRF
García & Luque 2008	8,31 $\mu g\ g^{-1}$	57,34 $\mu g\ g^{-1}$	A A.
Padilla & León 2008	32,56 $mgkg^{-1}$	98,83 $mgkg^{-1}$	A A.
Franco & León 2010	0,126 $mgkg^{-1}$	20,80 $mgkg^{-1}$	A A.
Franco & León 2012	18.60 $\mu g\ g^{-1}$	80.73 $\mu g\ g^{-1}$	A A.
Salazar & Pérez 2014	---------------	---------------	A A.
Aguilera & Andrade 2014	---------------	---------------	A A.
Martínez 2002 Costa norte	17,99 $\mu g\ g^{-1}$	50,82 $\mu g\ g^{-1}$	A A.
Pérez et al 2006	---------------	--------------	A A.
Fernándes et al 2007	83 $mgkg^{-1}$	241 $mgkg^{-1}$	AALL
García et al 2003	22,9 $mgkg^{-1}$	124,34 $mgkg^{-1}$	EDXRF
Chui et al 2009	15 ppm	101,7 ppm	EDXRF

AA. absorción atómica; AALL. Absorción atómica de llama; TXRF: fluorescencia de rayos X por reflexión total. EDXRF: fluorescencia de rayos X de dispersión de energía.

Tabla 4. Concentración de metales totales en sedimento y comparación con la guía de calidad del sedimento.

Analito	Este estudio	*Guía de calidad del sedimento	
		Bajo	Medio
Cu	62,2	34	270
Zn	283,9	150	410

* (Long y MacDonald, 1998).

Metales en el Pez *Mugil incilis*

Durante los 2 primeros muestreos en la CM no se encontró muestras para la especie *M. incilis*. Esto está relacionado con la migración reproductiva que realizan a finales de octubre, en la cual la especie sale a mar abierto a desovar (Zapata & Usma, 2013). Las concentraciones de MP en músculo, branquias e hígado se

encuentran en la tabla 5. La acumulación en los tejidos siguió el siguiente orden: hígado > branquias > músculo en los dos muestreos.

Cobre (Cu)

El hígado presentó las mayores concentraciones de cobre para los dos meses de muestreo, con un valor promedio para el M3 de 4828 $mgkg^{-1}$ y 547,5 $mgkg^{-1}$ en el M4. Las branquias registraron un valor medio de 342 $mgkg^{-1}$ en el muestreo 3 y 27,8 $mgkg^{-1}$ en el M4. El contenido más alto de cobre registrado en el músculo se dio en el M4 (51,9 $mgkg^{-1}$), mientras que las concentraciones en branquias e hígado fueron inferiores a las encontradas en el M3 (tabla 5, figura. 2). Esto puede estar sujeto a las diferencias de talla, siendo este factor importante, puesto que cuando se presenta una menor talla el músculo tiende acumular más metales, debido a que el radio de excreción es mucho más lento (Franco & León 2012; Al-Yousuf et al., 2000). Las altas concentraciones registradas en el tejido hepático están relacionadas con la función que tiene en el metabolismo de desintoxicar, pudiendo así acumular grandes cantidades de cobre en comparación con los demás órganos.

Zinc (Zn)

Se hallaron concentraciones de Zinc en las branquias superiores a los encontrados en hígado y músculo para los dos meses de muestreo, con una media de 1323 $mgkg^{-1}$. No obstante, los individuos capturados en el cuarto muestreo registraron valores de zinc en músculo mayores a los encontrados en hígado y branquias, con un valor medio de 237 mgkg-1. Los altos valores en las branquias están sujetos a la capacidad de captación de sustancias en disolución que presenta este órgano (Fernandes 2007; Hauser-Davis et al., 2016) permitiendo inferir que las concentraciones en disolución en el agua puedan estar altas. Además, cabe resaltar que la especie *M incilis*, es una especie filtradora, que le permite tomar grandes cantidades de biomasa en cortos periodos de tiempo (Bond., 1996), también son considerados detritívoros e incorporan en su dieta diatomeas centrales y poliquetos (Jiménez., 2008). Los cuales han sido reportados como indicadores de MP, puesto que bioconcentran estos elementos (Siqueiros et al., 2014; Fernández., 2015 y Herrera y Méndez 2019).

Los datos del estudio indican que las concentraciones medias de los MP (Cu y Zn) en los tres tejidos son muy variables, proporcionando que las mayores concentraciones de cobre se encuentran en el hígado y las de zinc en las branquias. Schuhmacher et al. (1992) y Ribas. (2010), señalaron que el cobre es captado en el hígado para formar metalotioneína tetrahedral y especies del complejo metaloenzimas. Las cuales contienen un grupo tiol (-Sh) que facilita la unión al metal, lo que podría explicar las altas concentraciones halladas en este tejido. Las concentraciones de Zn en branquias se deben a la facilidad que presenta para atravesar las membranas celulares (Gaete-Olivares et al., 2014), además que tienden a formar complejos con el mucus de las lamelas branquiales, lo que favorecería su acumulación (Yilmaz et al., 2007). En el músculo se encontraron valores inferiores a los encontrados en las branquias e hígado; sin embargo, las concentraciones estuvieron por encima de la media reportadas en otras investigaciones (tabla 6). Las concentraciones de los metales en las branquias reflejan la disponibilidad de estos elementos en las aguas donde hábitan los peces, mientras que el hígado representa el almacenamiento de metales.

Las concentraciones de Cu (Tabla 5), superaron las concentraciones encontradas en *Mugil curema*, en los estudios realizados por Fuentes *et al.* (2018) y Corrales. (2013) y los valores de Zn superan los valores medios para *Mugil cephalus* (Dural et al*.,* 2006). El músculo presentó las concentraciones más bajas, sin embargo, estos valores se encuentran por encima de los reportados por Franco & León. (2012) & Fuentes et al*.* (2018), y se encuentran por encima de los límites permisibles propuestos por las normas sanitarias internacionales (Tabla 7). Las concentraciones de Zn en el músculo son más altas que las encontradas

para el Cu, esto se debe a que los requerimientos en la dieta para cobre son más bajos (Ribas, 2010). Las altas concentraciones registradas pueden deberse a la importancia que tiene el Zn en el metabolismo y que a menudo se regula por la actividad fisiológica de los organismos (Molina et al., 2012).

El hígado tiene la función de desintoxicación en el metabolismo del organismo y es un órgano altamente activo en la captación y almacenamiento de metales pesados (Zorrilla, 2011; Dural, 2006). Las branquias son la principal vía de transferencia del Cu y Zn al interior de los tejidos y es fundamental en la ingesta de cobre, debido a que interviene en la función del sistema nervioso, debido a que está involucrado en el metabolismo del hierro (Benedetti et al., 1989; Lemus et al., 1992; Argota et al., 2012). Asimismo, es el órgano principal para la absorción de compuestos en disolución (Lemus, 1992; Dural et al., 2006), por tanto, provee información de la disponibilidad de sustancias químicas en el medio

Los tres órganos muestran concentraciones altas para los dos metales lo cual puede estar sujeto a las altas concentraciones que se encuentran en el medio. Esto puede estar ocurriendo porque el hígado, que es el órgano encargado de la desintoxicación no pueda regular los valores hepáticos, produciéndose la acumulación en otros tejidos u órganos (Arellano, 1999; Benedetti et al., 1989).

Tabla 5. Concentración de MP en *M. incilis* en Músculo, Branquias e Hígado, por muestreo. Promedio ± desviación estándar.

Tejido	M3	
	Cu	Zn
Musculo	45,5 ± 3,53	679 ± 70,0
Branquias	342 ± 40,30	1323 ± 54,44
Hígado	4828 ± 363,45	643 ± 54,44
	M4	
	Cu	Zn
Musculo	51,9 ± 9,81	237 ± 4,17
Branquias	27,8 ± 0,14	109,8 ± 2,40

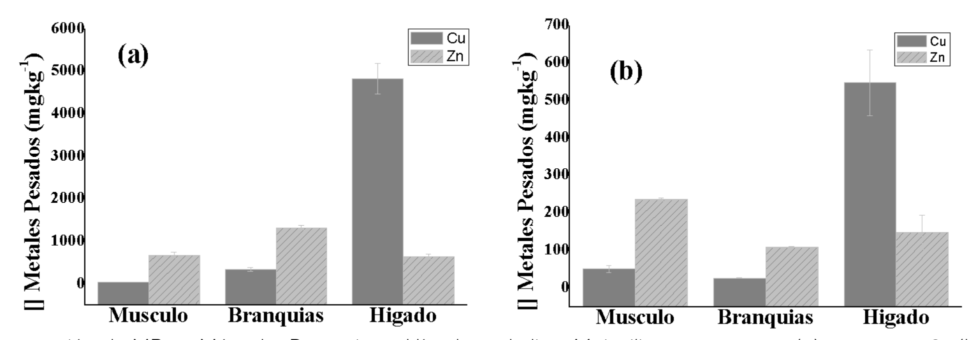


Figura 2. Concentración de MP en Músculo, Branquias e Hígado en la lisa *M. incilis* por muestreo, (a): muestreo 3, (b): muestreo 4.

Tabla 7. Concentración de MP en tejidos de *M incilis*, comparación con normas sanitarias internacionales.

	Mugil incilis - Músculo				Australian food standard	International Standards
	M3		M4			
	X	D.E	X	D.E	(Anon, 1994)	(FAO, 1983)
Cu	45,5	3,53	51,9	9,81	10	#
Zn	679	70,0	237	4,17	#	100

Valores dados en mg/kg, # Valor no disponible.

Tabla 6. Comparación de las concentraciones de MP en tejidos (Músculo, Branquias y Hígado) en *Mugil incilis*.

Órgano	Este estudio		Marcovecchio (2004). *M. liza* (µg g-1)		Hauser et al. (2016) *M. liza* (µg g-1)		Fuentes et al. (2018) *M. curema* (µg g-1)		Corrales, (2013) *M. plantanus* (µg g-1)		Franco & león. (2012) *M. incilis* (µg g-1)		Fernandes et al. (2007) *Liza saliens* (mgkg-1)		Dural et al. (2006) *Mugil cephalus* (µg g-1)	
			Espectrometría de absorción atómica		Espectrometría de absorción atómica		Espectrometría de absorción atómica con vapor frio		Espectrometría de fluorescencia de rayos x		Espectrometría de absorción atómica		Espectrometría de absorción atómica		Espectrometría de absorción atómica	
	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Zn	Cu
Músculo	48,7 ± 4,5	458 ± 312,5	----	48,8±3,9 2	---	3,57	0,51	17,36	2,7	20,9	20,21	9,12	2,64	---	42.2±16 ,01	---
Branquias	184,9±22 2,2	716,4 ± 857,9	----	----	0,81	64,61	-----	----	----	----	----	---	253,68	---	----	---
Hígado	2687,75 ± 3026,8	396,25 ± 349,0	----	52,0 ± 4,14	0,94	11,27	---	---	2330,7	359,6	524,17	41,99	---	---	125,7±6 ,45	---

Tabla 7. Concentración de MP en tejidos de *M incilis*, comparación con normas sanitarias internacionales.

	Mugil incilis - Músculo				Australian food standard	International Standards
	M3		M4			
	X	D.E	X	D.E	(Anon, 1994)	(FAO, 1983)
Cu	45,5	3,53	51,9	9,81	10	#
Zn	679	70,0	237	4,17	#	100

Valores dados en mg/kg, # Valor no disponible.

Factor de Bioacumulación (FB)

En la tabla 8 se observan los valores del Factor de Bioacumulación de MP en músculo, branquias e hígado del pez *M incilis*. El FB se realizó con relación al promedio de los metales (Cu y Zn) presentes en los 2 muestreos realizados. Teniendo en cuenta que el metal es bioconcentrado cuando el FB es igual o mayor a 1.

El FB evidencio que el cobre se bioacumula en el tejido hepático, tanto para las muestras recolectadas en el M3 como en M4 (figura.4), existiendo mayores niveles de bioconcentración para los individuos de mayor tamaño; asimismo las branquias también están acumulando este metal en el M3. El músculo por el contrario no presentó bioacumulación en ninguna de las muestras. Los altos valores para Cobre pueden estar asociados a la proteína metalotioneina, puesto que el 36% del cobre en el hígado está ligado a la metalotioneina (Ribas 2010). Estos resultados son similares a los reportados por Fernandes et al. (2007); Franco & León. (2012) (Tabla 9). Las concentraciones de Zinc, se deben a que este se asocia principalmente con la materia en suspensión antes de acumularse finalmente en el sedimento Márquez *et al.* (2008).

El Zinc por su parte se bioacumuló en los tres tejidos para los individuos recolectados en el M3, existiendo la mayor bioacumulación en el tejido branquial. Para el M4 no se presentó bioacumulación en ninguno de los tejidos, demostrando de esta forma que los individuos de mayor talla son los que mayor concentran MP



(Vergara & Rodríguez., 2015; Bermeo & Célleri., 2016). Además, se encontró que el FB del Zn tiene una correlación positiva (r= 0,848*), con el Zn presente en el sedimento, lo cual indica que la fuente de bioacumulación de este metal sería los biodisponibles en el sedimento, por el contrario, el Cu no tiene una asociación significativa (r= 0,419), indicando que este metal podría estar siendo bioacumulado de una fuente alóctona. Concluyendo así que las concentraciones de metales trazas Cu y Zn, están siendo bioacumulados por el pez *M. incilis*. El Cu es bioacumulado en el tejido hepático y branquial y el Zn ha sido bioconcentrado por los tres tejidos.

Tabla 8. Factor de Bioacumulación (FB) de metales pesados en *M. incilis* en la ciénaga de Los Manatíes.

	Tejido		
		Cu	Zn
	Musculo	0,73	2,30
M3	Branquias	5,50	4,48
	Hígado	77,62	2,18
		Cu	Zn
	Musculo	0,83	0,80
M4	Branquias	0,45	0,37
	Hígado	8,80	0,51

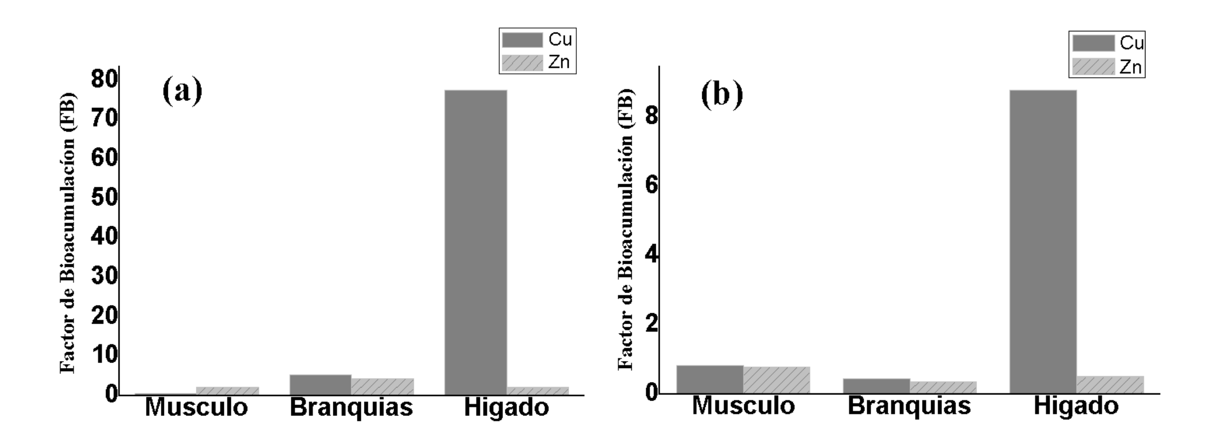


Figura 3. Factor de Bioacumulación del pez *M. incilis* en músculo, branquias e hígado, (a). muestreo 3; (b). muestreo 4.

Tabla 9. Comparación del Factor de Bioacumulación con otros estudios.

Órgano	Este estudio		Barros et al. (2016) *L synagris y L. vivanus*		Fernandes et al. (2007) *Liza saliens*		García & Luque. (2008) *M incilis*		Franco & León. (2012) *M incilis*	
	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
Músculo	0,78	1,55	--	5,6	3.17	10,72	5,19	1,085	2,41	0,15
Branquias	2,97	2,43	--	--	10.34	447,4 5	--	--	--	--
Hígado	43,21	1,34	--	--	304.9	36,3	--	--	62,55	0,69

Literatura citada

Alavarado C. 2013. Análisis multielemental de fertilizantes (mezclas físicas) por Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total, Guatemala, Informe de tesis, Universidad de san Carlos de Guatemala, Facultad de ciencias Químicas y Farmacia.

Al-Yousuf, M., El-Shahawi M, Al-Ghais S. (2000); Trace metals in liver, skin and muscle of Lethrinus lentjan fish species in relation to body length and sex. *The science of the Total Environment, (256)*,87-94.

Anon. 1994. Food Standars Code. National Food Authority, Canberra - Australia.

Ansari, T. M., Marr, I. L., & Tariq, N. (2004). Heavy metals in marine pollution perspective-a mini review. *Journal of Applied Sciences, 4*(1), 1-20.

Arellano, J.M., Storch, V., & Sarasquete, C. (1999 rellano, J. M., Storch, V., & Sarasquete, C. (1999). Histological changes and copper accumulation in liver and gills of the Senegales sole, *Solea senegalensis. Ecotoxicology and Environmental Safety, 44(1)*, 62-72.

Argota, G., Argota, H., Larramendi, D., Mora, Y., Fimia, R., & Iannacone, J. (2012). Histología y química umbral de metales pesados en hígado, branquias y cerebro de *Gambusia punctata* (Poeciliidae) del río Filé de Santiago de Cuba. REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria, 13*(5), 1-11.

Benedetti, J, G Albano, L Mola. (1989). Histomorphological changes in some organs of the brown bullhead, Zctalurus nebulosus LeSueur, following short- and long-term exposure to copper, J. Fish Bid. 1989, 34, 273-280.

Bond, C. (1996). Biology of Fishes. 2nd Edition. Thomson Learning, Inc. USA. 750 p.

Boy, A. (2015). Determinación de metales pesados en agua, peces, almejas e *Hydrilla verticillata* del lago Izabal. Trabajo de grado, Universidad de San Carlos Guatemala.

Cadavid, E., Socorro, N., & Marrugo, J. (2019). Contaminación por metales pesados en la bahía Cispata en Córdoba-Colombia y su bioacumulación en macromicetos. *Gestión y Ambiente 22*(1), 43-53

Calderón, C., & Valdés, J. (2012). Contenido de metales en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge, Antofagasta, Chile. *Revista de biología marina y oceanografía, 47*(1), 121-133.

Corporación Autónoma Regional del Atlántico(CRA) 2015. Monitoreo fisicoquímico, microbiológico e hidrobiológico sobre la calidad y estado de los cuerpos de agua, las fuentes hídricas del departamento del Atlántico y la caracterización de los humedales Sabanagrande, santo tomas y palmar de Varela en cumplimiento de lo establecido en el plan de acción institucional 2012 - 2015 informe final.

Corrales, D. Acuña A, Salhi M, Saona G, Odino R. Metales pesados en dos especies de peces de la zona costera de Montevideo. 2013, Universidad de la Republica Uruguay.

Delgado, J. (2012). Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca baja del rio Guadiana. Tesis y trabajos fin de Master. Universidad de huelva. Pág. 3.

Dural, M., Lugal, M., Akif, A., Derici, B., (2006). Bioaccumulation of some heavy metals in different tissues of *Dicentrarchus labrax* L, 1758, *Sparus aurata* L,1758 and *Mugil cephalus* L, 1758 from the CamLik lagoon of the eastern cost of mediterranean (turkey). *Environmental Monitoring and Assessment, 118*(1), 65–74.

FAO (Food and Agriculture Organization). 1983. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. Fishery Circular 464, 5-100.

Fernandes, C., Fontainhas-Fernandes, A., Peixoto, F., & Salgado, M. A. (2007). Bioaccumulation of heavy metals in *Liza saliens* from the Esmoriz–Paramos coastal lagoon, Portugal. *Ecotoxicology and environmental safety, 66*(3), 426-431.

Franco, A., & León, I. (2012). Bioacumulación de metales traza en *Mugil incilis* (Hancock,1830); una herramienta útil para el biomonitoreo de la contaminación metálica en el litoral costero del departamento del atlántico, Colombia. *Costas 1*(1), 98-106.

Fuentes. F., J. Pinedo, J. Marrugo. (2018). Metales pesados en especies ícticas de la ciénaga de mallorquín, Colombia. *Revista espacios, 39*(3).

Gaete-Olivares, H., Guerra Muñoz, R., Carvajal Vásquez, D., Mukarker Valladares, M., & Lobos Valenzuela, G. (2014). Evaluación de la genotoxicidad de las aguas costeras de Chile central sobre los peces *Mugil cephalus* y *Odontesthes brevianalis*. *Hidrobiológica, 24*(3), 271-279.

García, A, M Luque. Análisis de metales pesados (Cr, Fe, Zn, Cd y Pb) en el tejido muscular de la mojarra rayada *Eugerres plumieri* y en la Lisa *Mugil incilis* de la ciénaga de Mallorquín, Atlántico. 2008, Trabajo de grado. Universidad del Atlántico, Barranquilla.

Guiñez, M., Valdés, J., & Castillo, A. (2015). Contenido de metales en sedimentos y en *Emerita analoga* (Stimpson, 1857), en bahía Mejillones del Sur, Chile. *Latin american journal of aquatic research, 43*(1), 94-106.

Hauser-Davis, R. A., Bordon, I. C., Oliveira, T. F., & Ziolli, R. L. (2016). Metal bioaccumulation in edible target tissues of mullet (*Mugil liza*) from a tropical bay in Southeastern Brazil. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 36*, 38-43.

Herrera, M., & Méndez, N. (2019). Efecto del cadmio sobre la mortalidad de adultos de *Polydora* sp.(Polychaeta: Spionidae) en el laboratorio. *Revista de Biología Tropical, 67*(5), 110-118.

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, INVEMAR, 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (agua, sedimento y organismos).

Jímenez, R.M.F. (2008). Caracterización trófica de algunos peces de interés comercial en la bahía de Cartagena (caribe colombiano). Trabajo de grado.

Lemus, M, S chung, J Chópite. (1992). Efecto de la temperatura sobre la acumulación y depuración de cobre en tejidos de juveniles de. *Petenia kraussi (*Steinchdachner, 1887) (Pisces: Cichlidae). saber Vol 9.

León L, I. & OS Padilla. Geoquímica y contaminación por metales pesados (Fe, Cu, Pb y Zn) en sedimentos superficiales intermareales y submareales en la ciénaga de mallorquín (Barranquilla-Colombia). 2008, Pág.16.

León, I., Méndez, G., & Rubio, B.. (2004). Fases geoquímicas del Fe y grado de piritización en sedimentos de la Ría de Pontevedra (NO de España): implicaciones del cultivo del mejillón en bateas. *Ciencias Marinas, 30*(4), 585-602.

Long, E. R., & Mac Donald., D.D. (1998). Recommended uses of empirically derived, sediment quality guidelines for marine and estuarine ecosystems. *Human and Ecological Risk Assessment 4*(5), 1019-1039.

Marcovecchio, J. E. (2004). The use of *Micropogonias furnieri* and *Mugil liza* as bioindicators of heavy metals pollution in La Plata river estuary, Argentina. *Science of the Total Environment, 323*(1-3), 219-226.

Márquez, B., W. Senior, I. Fermín, G Martínez, J Castañeda & A. Gonzales. (2008). Cuantificación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces y crustáceos de la laguna de Unare.

Molina, C. I., Ibañez, C., & Gibon, F. M. (2012). Proceso de biomagnificación de metales pesados en un lago hiperhalino (Poopó, Oruro, Bolivia): Posible riesgo en la salud de consumidores. *Ecología en Bolivia, 47*(2), 99-118.

Mzimela, H. M., Wepener, V., & Cyrus, D. P. (2003). Seasonal variation of selected metals in sediments, water and tissues of the groovy mullet*, Liza dumerelii* (Mugilidae) from the Mhlathuze Estuary, South Africa. *Marine Pollution Bulletin, 46*(5), 659-664.

Pájaro, D, P Sánchez. (2016). Evaluación de las concentraciones de Metales Pesados (Cd Y Pb) en especies ícticas comercializadas en la plaza del pescado de la ciudad de Barranquilla y riesgo potencial para la salud humana. trabajo de grado, universidad CUC.

Pérez, M., Martínez. G., & I. Fermín. (2006). Biodisponibilidad de metales traza en sedimentos superficiales del ecosistema lagunar costero bocaripo-chacopata (península de Araya, estado Sucre). *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 45* (2), 81-91.

Ribas, B. 2010, Metalotioneína y algunos elementos minerales como bioindicadores en toxicología y clínica. Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia.

Schuhmacher, M., Domingo, J. L., Bosque, M. A., & Corbella, J. (1992). Heavy metals in marine species from the Tarragona coast, Spain. *Journal of Environmental Science & Health*, *27*(7), 1939-1948.

Siqueiros-Beltrones, D. A., Argumedo-Hernández, U., Murillo-Jiménez, J. M., & Marmolejo-Rodríguez, A. J. (2014). Diversidad de diatomeas bentónicas marinas en un ambiente ligeramente enriquecido con elementos potencialmente tóxicos. *Revista Mexicana de Biodiversidad, 85*(4), 1065-1085.

Suami, R. B., Sivalingam, P., Kabala, C. D., Otamonga, J. P., Mulaji, C. K., Mpiana, P. T., & Poté, J. (2018). Concentration of heavy metals in edible fishes from Atlantic Coast of Muanda, Democratic Republic of the Congo. *Journal of Food Composition and Analysis, 73*, 1-9.

Yılmaz, F., Özdemir, N., Demirak, A., & Tuna, A. L. (2007). Heavy metal levels in two fish species *Leuciscus cephalus* and *Lepomis gibbosus*. *Food chemistry*, *100*(2), 830-835.

Zapata, L, J Usma. Guía de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia peces. 2013, Ministerio de Ambiente y Desarrollo, Vol 2, Pág. 138.

Zorilla, M. (2011). Estado del arte sobre la presencia de metales pesados en tejidos y agallas de peces. trabajo de grado, Universidad Autónoma de Occidente.